

浅析分布式电源对配电网规划的影响

俞曙江^{1,2}, 张沁³, 李哲⁴

(1.华北电力大学电气工程学院研究生院, 河北 保定 071003; 2.杭州市电力局设备公司, 浙江 杭州 310018; 2.南京师范大学能源与机械工程学院, 江苏 南京 210042; 3.中国电力科学研究院, 江苏 南京 210061)

摘 要: 随着分布式电源的出现, 对于传统的配电网规划工作带来了新的挑战。本文首先介绍了配电网规划的内容和目的, 然后阐述了分布式电源的分类和特点, 最后分析了分布式电源对配电网规划的影响。指出电网规划人员在选择最优方案的时候必须考虑由分布式电源所带来的影响。

关键词: 配电网规划; 分布式电源; 影响

0 引言

在全球一次能源逐渐衰竭和电力企业解除管制的背景下, 分布式电源 (Distributed Generation, DG) 受到越来越多的关注^[1]。大电网与分布式电源相结合被世界许多能源、电力专家公认为是能够节省投资、降低能耗、提高电力系统可靠性和灵活性的主要方式, 是 21 世纪电力工业的发展方向^[2]。DG 具有节能、环保、投资少、占地小的特点, DG 对高峰期电力负荷的供电比集中式供电更加经济, 是集中供电的有益补充。DG 与集中式供电联合运行, 可以节省投资、降低能耗、提高电力系统运行的灵活性、可靠性和安全性。另一方面, DG 引入电力系统又造成了一些负面影响, 例如电压闪变、短路电流增大、继电保护误动等。分布式电源的出现, 给传统的配电网规划带来了实质性的挑战。

1 配电网规划的内容和目的

配电系统规划的主要任务是根据规划期间网络中空间负荷预测的结果和现有网络的基本状况确定最优的系统建设方案, 在满足负荷增长和安全可靠供应电能的前提下, 使配电系统的建设和运行费用最小。配电网规划常常分成几个阶段进行, 称为多阶段配电网规划。多阶段规划模型是协调短期规划和长期规划的有效途径, 由于考虑了规划水平年内的负荷变动情况, 通过多阶段规划模型做出的配电网短期规划(如第一个阶段的五年规划)能够保证该规划从长远看来也是经济的。因此, 多阶段规划的结果实际上综合包括了短期规划和长期规划两个部分, 规划水平年的前面一个或者几个阶段涉及的是配电设备的短期投入情况, 是短期规划的内容,

所有阶段的设备投入次序是长期规划的内容。前人对配电网规划问题进行了卓有成效的研究, 经历了模型由简化到全面、算法由简单到复杂的过程。配电网规划模型通常涉及以下几个方面^[3]:

- 1) 变电站和馈线系统是分开考虑还是同时考虑;
- 2) 负荷是静态的还是动态的;
- 3) 是否考虑电压约束和设备的容量约束;
- 4) 是否考虑可靠性;
- 5) 是否考虑费用和运行约束的非线性;
- 6) 是否考虑辐射状运行约束等。

配电网规划是在可行性技术的条件下, 制定可行的电网发展方案, 以满足负荷发展的需求。配电网规划在数学上是一个离散、非线性、多阶段、多目标的组合优化问题, 其目的是: 在满足用户供电和保证网络运行约束的前提下, 寻求一组最优的决策变量(变电站的位置和容量、馈线路径和型号、常开和常闭开关的位置), 使得投资、网损和用户停电损失之和最小。

2 分布式电源的分类和特点

分布式电源 DG 是指分散安装在用户侧, 既可独立于公共电网直接为少量用户提供电能, 又可将其接入配电网, 与公共电网一起为用户提供电能的中小型发电装置(发电功率在数千瓦至 50MW)。根据使用的能源可分为基于化石能源的分布式电源技术、基于可再生能源的分布式电源技术以及混合的分布式电源技术。

1) 基于化石能源的分布式电源技术主要包括往复式发动机技术、微型燃气轮机技术和燃料电池技术。其中, 燃料电池工作时, 不需要燃烧, 不污

染环境,是一种很有发展前途的洁净和高效的发电方式,被称为 21 世纪的分布式电源。

2) 基于可再生能源的分布式电源技术主要由以下几种技术构成:①太阳能光伏发电技术,具有不消耗燃料、不受地域限制、规模灵活、无污染、安全可靠、维护简单等优点,但其发电成本非常高。②风力发电技术,分为独立与并网运行两类,近年来,风力发电技术进步很快,单机容量在 2MW 以下的技术已很成熟。

3) 混合的分布式电源技术通常是指两种或多种分布式电源技术及蓄能装置组合起来,形成复合式发电系统。与简单的供电系统相比,分布式供电系统可以大幅度提高能源利用率、降低环境污染、改善系统的热经济性。

分布式电源主要具备以下特点:

1) 分散的资源和需求

可再生能源与化石能源相比,一般较分散、能量密度较低。按目前的技术可再生能源利用系统规模较小,难以实现集中供能,而较适合以分散供能形式出现。此外,在偏远地区,避免建设投资大的电网,而直接利用当地资源,选择分散发电方式更为恰当。在一些特殊的场合,如集会、庆典、运动会等为保证供电的安全、除电网供电外,还要设置自己的分散供电设施,可以是固定式的,也可以是处于热备用状态的移动(车载)分散发电装置,则供电可靠性大大提高。

2) 节省投资提高效率

分布式电源可以延缓输、配电网升级换代所需的巨额投资。分布式电源装置除太阳能、风能之外,其他一些装置的效率与中心电厂传统发电机组的效率出入不大,其中有一些如燃料电池发电效率大大超过传统发电方式,并且分布式电源布置在用户附近,容易实现热(冷)电联供,可以在满足用户需求的同时实现能量的综合梯级利用,再加上减少了输电损失,分布式电源系统具有高的供电效率。

3) 互为补充提高可靠性

世界对电力需求越来越大,电网急速膨胀对供电安全与稳定有不利的一面。分布式电源与大电网配合可以大大提高供电的可靠性。在分布式电源与电网连接的情况下,电网供电与分布式电源供电可以互为备用电源,提高供电可靠性。分布式电源可在电网意外事故(战争、人为破坏、地震、暴风雨雪、操作失误等)或解列情况下维持重要用户供应。在因

种种原因发生电力危机时,分布式电源可以不受(拉闸限电)影响,自行发电满足生活、生产、经济活动的需要。在电力短缺时,用户将会自发地投资建设容量小、占地面积小、投资少、安装方便的分布式电源装置。

4) 环境友好

可再生能源如风能、太阳能是清洁能源,其他分布式电源装置使用的多数是清洁燃料,如天然气、沼气、生物质能等(传统发电以煤为主),并且这些装置应用了现代污染物控制技术,减少了废气、废水、废渣的排放。

5) 调峰性能好

电网峰谷差距越来越大是一个客观存在的现实,分布式电源装置可缓解对中心电站需求压力,化解电网峰谷差大的矛盾,均衡电网电力负荷,提高电网安全性和经济性。

3 分布式电源对配电网规划的影响

分布式电源的出现给配电网的运行带来了巨大的影响,同时也给传统的配电网规划带来了实质性的挑战,使得电网规划人员在选择最优方案时必须考虑分布式电源所带来的影响。DG 给配电网规划所带来的影响主要包括以下几个方面:

1) 增加不确定性因素

DG 的出现会使电力系统的负荷预测、规划和运行与过去相比有更大的不确定性。由于大量的用户会安装 DG 为其提供电能,使得配电网规划人员更加难以准确预测负荷的增长情况,从而影响后续的规划。另外, DG 虽然可以减少电能损耗,并且可以推迟或减少对电网升级的投资,但是如果 DG 的位置和容量不合适,反而可能导致电能损耗的增加,从而导致网络中某些节点电压的下降或出现过电压,还会改变故障电流的大小、持续时间及其方向。因此,为获得正确的决策,必须对 DG 给配电网造成的影响做出准确的评估,即最优化工具必须能够准确评估 DG 对所在电网的影响,给出 DG 的最优位置和容量,使得 DG 在电网的逐步渗透不会破坏电网运行的安全性和经济性。

2) 产生配电网双向潮流

不含 DG 的配电网通常采用环网结构,开环运行,潮流单向流动。DG 接入配电网产生了双向潮流,给传统的配电网调压和继电保护带来影响。配电网的调压规则是以潮流从变电站流向用户为基础

的,但在分布式电源接入电网之后,配电系统从放射状结构变为多电源结构,潮流的大小和方向有可能发生改变,从而使电力系统中某些部分的电压也发生变化。DG 接入产生的双向潮流问题给传统的配电网过流保护也将带来影响,导致保护失去选择性或者灵敏度降低[4]。如果 DG 对故障电流的贡献足以改变短路水平,还将引起熔断器和断路器的不匹配,影响电力系统的可靠性和安全性。

3) 增大问题求解难度

配网规划一般考虑 5-20 年。一般情况下,在此年限内,通常假定电网负荷逐年增长,新的中压/低压节点不断出现,结果会增建一个或更多的变电站。由于规划问题的动态属性同其维数相关联(通常几千个节点需要同时考虑),若再出现许多发电机节点,寻找到最优的网络布置方案(即可以使建造成本、维护成本和电能损耗最小的方案)将更加困难。

4) 增加运营管理难度

对于在配电网安装 DG 的用户或独立投资商,他们与维护电网安全和供电质量的配电网公司之间存在一定的冲突。因为大量 DG 接入将对配电网结构产生重大影响。一系列包括电压调整、无功平衡、继电保护在内的综合性问题将影响系统的运行。为了确保电网的安全与优质运行,必须添置电力电子设备,实施相应的控制策略与调节手段,将 DG 集成到配电系统。这不但需要改造现有的配电自动化系统,还需将配电网被动管理转变为主动管理。此外,鉴于 DG 机组类型及所采用一次能源的多样化,如何在配网中确定合理的能源结构,如何协调和有效地利用各种类型的电源成为新出现,而且迫切需要解决的问题。因此, DG 的广泛应用,使得国家能源政策、能源规划等直接渗透到与 DG 有关的电力系统规划中,并影响规划的决策过程。

5) 降低供电设施利用率

作为架设线路的替代方案, DG 能扩大配电网的供电容量。因而 DG 接入配电网可以延缓或避免配电网投资。但另一方面,若 DG 接入供电容量充裕的区域或节点则可能导致原有供电容量长期处于备用或闲置状态,降低了供电设施利用率,产生沉没成本,使原规划方案的配电公司投资无法按期回收。因此,在考虑 DG 接入的配电网规划中,应充分发挥发电成本较低的 DG 在经济上的优势,降低配电网建设与运营成本;而在利用 DG 对配电网扩

容规划中,则应研究 DG 与现有网络的配合问题及其技术经济评价方法。

4 含分布式电源的配电网规划数学模型

为实现配电网效益最大化,根据负荷增长情况以及目标网络结构,在保证满足电网各个约束条件的前提下达到经济性最优。本文采用综合考虑配电网线路升级及维护费用、分布式电源运行总费用以及网络损耗费用的多目标规划数学模型,该归一化目标函数具体描述如下:

$$\min E_{\text{cost}} = \kappa_1 C_N + \kappa_2 C_{DG} + \kappa_3 C_L \quad (1)$$

式中 E_{cost} 为电网运行总费用; C_N 为配电网线路升级及电网维护费用; C_{DG} 为分布式电源的运行总费用; C_L 为电网网络损耗费用; κ_1 、 κ_2 、 κ_3 为权重系数。

针对电网的基本要求,约束条件分为节点电压约束,支路潮流约束,分布式电源运行约束。

1) 节点电压约束

$$U_{\min} \leq U_i \leq U_{\max}, \quad i \in \Phi \quad (2)$$

式中, U_i 为节点 i 处的电压; U_{\min} 为节点 i 的电压下限; U_{\max} 为节点 i 的电压上限; Φ 为配电网的节点集合。

2) 支路潮流约束

$$S_j \leq S_{j\max}, \quad j \in \Omega \quad (3)$$

式中, S_j 为支路 j 处的潮流量; $S_{j\max}$ 为支路 j 的容量上限; Ω 为配电网的支路集合。

3) 分布式电源运行约束

$$P_{DG_i} \leq P_{fh}, \quad i \in \Phi \quad (4)$$

$$Q_{DG_i} \leq Q_{fh}, \quad i \in \Phi \quad (5)$$

式中, P_{DG_i} 与 Q_{DG_i} 为节点 i 处接入分布式电源的有功和无功出力, P_{fh} 与 Q_{fh} 为节点 i 处有功负荷和无功负荷的大小。

分布式电源接入电网后会引引起系统内潮流的变化,为了使这种变化处于可控的范围内,通常要对分布式电源的容量进行限制。由于配电网通常是辐射状结构,只有一个电源,线路潮流单向流动,而系统保护也是根据这一特性进行设计。因此,为保证分布式电源接入电网后潮流方向不会发生改

变,在约束条件中,对各个节点上安装分布式电源的容量进行了限制,即要求所安装的分布式电源装机容量不超过所在节点的负荷大小。

5 结论

大电网与 DG 相结合的方式被世界公认为是能够节省投资、降低能耗、提高电力系统可靠性和灵活性的重要方式,是 21 世纪电力工业的发展方向。为了满足我国经济高速发展的需求,在已建集中电站及电网的基础上,大力发展分布式电源技术将是电力系统未来发展的必然趋势。然而随着越来越多的分布式电源接入配电网,电网规划人员必须要考虑分布式电源的影响。当大量的分布式电源出现在规划方案中时,大量的随机变化使得电力系统的复杂性大大增加。传统的规划方法没有充足的能力解决包含分布式电源的规划问题,这主要是因为传统的规划方法都不同程度地将规划问题进行了简化,对于规划中客观存在的难以定量表达的不确定性因素缺乏较好的处理方法。分布式电源的出现,给传统的配电网规划带来了实质性的挑战,使得电网规

划人员在选择最优方案的时候必须考虑由它所带来的影响,因此成为配电网规划研究的一个焦点。

参考文献:

- [1] 梁才浩,段献忠.分布式发电及其对电力系统的影响[J].电力系统自动化,2001,25(12):53-56.
- [2] 殷桂梁,杨丽君,王珺.分布式发电技术[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [3] 程浩忠,张焰.电力网络规划的方法与应用[M].上海:上海科学技术出版社,2002.
- [4] 胡成志.分布式电源接入系统研究[D].重庆:重庆大学,2005.

作者简介:

俞曙江(1973-),男,浙江宁波人,高级工程师,从事配电网事故分析及规划;

张沁(1970-),女,江苏武进人,从事实习培训工作;

李哲(1971-),男,江苏张家港人,高级工程师,从事电力相关领域咨询及规划。